

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-287400

(P2004-287400A)

(43) 公開日 平成16年10月14日(2004.10.14)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>G03F 1/08  
G03F 7/20  
H01L 21/027

F I

G03F 1/08 S  
G03F 7/20 521  
H01L 21/30 502V

テーマコード (参考)

2H095

審査請求 有 請求項の数 11 O L 外国語出願 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2003-408155 (P2003-408155)  
 (22) 出願日 平成15年10月31日 (2003.10.31)  
 (31) 優先権主張番号 02257610.2  
 (32) 優先日 平成14年11月1日 (2002.11.1)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 502010332  
 エイエスエムエル ネザランドズ ベスロ  
 ーテン フェンノートシャップ  
 オランダ国 5503 エルエイ フェル  
 トホーフェン, デ ルン 1110  
 (74) 代理人 100066692  
 弁理士 浅村 皓  
 (74) 代理人 100072040  
 弁理士 浅村 肇  
 (74) 代理人 100087217  
 弁理士 吉田 裕  
 (74) 代理人 100080263  
 弁理士 岩本 行夫

最終頁に続く

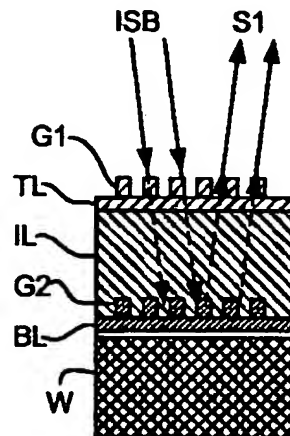
(54) 【発明の名称】 検査方法とデバイス製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 精度、感度、再現性が改善されたリソグラフィ装置を用いて、デバイスを製造する間にインライン測定が可能な検査方法を得ること。

【解決手段】 該検査方法は、リソグラフィ装置を使用して、互いに異なる第1と第2のパターン構成要素G1、G2を組み合わせたテストパターンを基板Wにプリントする段階と、リソグラフィ装置を使用して、前記第1と第2のテストパターン構成要素G1、G2に各々対応する第1と第2の基準パターンRG1、RG2を前記基板Wにプリントする段階と、スキヤトロメータを使用して、前記テストパターンと前記第1及び第2の基準パターンとの第1、第2、第3の反射スペクトルS1、S2、S3を測定する段階と、前記第1、第2、第3の反射スペクトルから前記基板W上の前記テストパターンのパラメータを指示する情報を得る段階とを含んでいる。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

検査方法において、該検査方法が、

リソグラフィ装置を使用して、互いに異なる第 1 及び第 2 のパターン構成要素 (G 1, G 2) を含むテストパターンを、基板 (W) にプリントする段階と、

リソグラフィ装置を使用して、前記第 1 及び第 2 のパターン構成要素 (G 1, G 2) に各々対応する第 1 及び第 2 の基準パターン (R G 1, R G 2) を前記基板 (W) にプリントする段階と、

スキャタロメータを用いて、前記テストパターンと前記第 1 及び第 2 の基準パターンの第 1、第 2、第 3 の反射スペクトル (S 1, S 2, S 3) とを測定する段階と、

前記第 1、第 2、第 3 の反射スペクトル (S 1, S 2, S 3) から、前記基板 (W) 上の前記テストパターンのパラメータを指示する情報を得る段階とを含む検査方法。

10

## 【請求項 2】

前記第 1 及び第 2 のテストパターン構成要素 (G 1, G 2) が形状を異にしている、請求項 1 に記載された検査方法。

## 【請求項 3】

前記第 1 及び第 2 のテストパターン構成要素 (G 1, G 2) が、前記基板 (W) 上に設けられた複数プロセス層 (T L, B L) の間で位置を異にしている、請求項 1 に記載された検査方法。

## 【請求項 4】

前記テストパターン (G) が、第 1 及び第 2 のプロセス層 (T L, B L) の互いの上面にプリントされた第 1 と第 2 の位置合わせマーク (G 1, G 2) を含み、かつまた前記第 1 及び第 2 の基準パターンが、対応する基準位置合わせマーク (R G 1, R G 2) を含み、該マークが、各々、第 1 及び第 2 のプロセス層 (T L, B L) にプリントされるが、オーバーレイはしていない、請求項 3 に記載された検査方法。

20

## 【請求項 5】

前記テストパターン (G) が、内側ピッチ (P 1) 及び外側ピッチ (P o) を有する 2 バー格子パターンを含み、かつまた前記第 1 及び第 2 の基準パターンが、各々、内側ピッチに等しいピッチを有する単一バーの格子と、外側ピッチに等しいピッチを有する単一バーの格子とを含む、請求項 2 に記載された検査方法。

30

## 【請求項 6】

前記スキャタロメータが垂直入射スキャタロメータである、請求項 1 から請求項 5 までのいずれか 1 項に記載された検査方法。

## 【請求項 7】

情報を得る前記段階が、前記第 1 及び第 2 の反射スペクトル (S 1, S 2) を用いて前記第 1 及び第 2 の基準パターン (R G 1, R G 2) を再構成し、かつまた再構成された基準パターンを使用して前記テストパターンを再構成する作業を含む、請求項 1 から請求項 6 までのいずれか 1 項に記載された検査方法。

## 【請求項 8】

情報を得る前記段階で、前記情報が、テストパターン (G 1, G 2) の再構成なしに、前記反射スペクトルから直接に得られる、請求項 1 から請求項 6 までのいずれか 1 項に記載された検査方法。

40

## 【請求項 9】

デバイス製造方法であって、

放射線感受性材料層により少なくとも部分的に覆われた基板 (W) を得る段階と、

放射系を用いて放射投影ビーム (P B) を得る段階と、

パターンニング素子 (M A) を使用して該投影ビームの横断面にパターンを付与する段階と、

パターン付与された投影ビームを、放射線感受性材料層のターゲット区域 (C) に投影する段階とを含む形式のものにおいて、

50

前記パターンが、プロセス層を表すパターンと、互いに異なる第1及び第2のパターン構成要素(G1, G2)の組み合わせを含むテストパターンと、各々前記第1及び第2のテストパターン構成要素に対応する第1及び第2の基準パターン(RG1, RG2)とを含み、

スキャタロメータを用いて、前記テストパターン(G1, G2)と前記第1及び第2の基準パターン(RG1, RG2)との第1、第2、第3の反射スペクトル(S1, S2, S3)を測定する段階と、

前記第1、第2、第3の反射スペクトルから、前記基板(W)上の前記テストパターン(G1, G2)のパラメータを指示する情報を得る段階とを含むことを特徴とする、デバイス製造方法。

10

【請求項10】

前記テストパターン(G1, G2)が、製品層のパターンに隣接する区域、例えばスクライプ・ラインにプリントされる、請求項9に記載されたデバイス製造方法。

【請求項11】

パラメータを指示する前記情報が、リソグラフィ装置及び処理工程のパラメータを調節するために使用され、その後で別の基板(W)が得られ、かつ放射投影ビーム(PB)を得る段階が、パターンニング素子(MA)の使用とパターン付与されたビームの投影とにより反復される、請求項9又は請求項10に記載されたデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

20

【0001】

本発明は、リソグラフィ技術によるデバイス製造に使用される検査方法と、リソグラフィ技術を使用してデバイスを製造する方法とに関するものである。

【0002】

リソグラフィ装置は、基板のターゲット区画に所望パターンを形成する装置である。リソグラフィ投影装置は、例えば集積回路(IC)の製造に使用することができる。その場合、パターンニング素子、例えばマスクを使用して、ICの個別層に対応する回路パターンを発生させることができ、そのパターンは、放射線感受性材料層(レジスト)を有する基板(例えばシリコンウェーハ)上のターゲット区画(例えば1つ以上数個のダイの一部を含む)に結像させることができる。一般的に言って、単一ウェーハは、順次に露光される複数隣接ターゲット区画の全ネットワークを含んでいる。公知のリソグラフィ投影装置には、全パターンをターゲット区画上へ一括露光することで各ターゲット区画を照射するいわゆるステッパーと、投影ビームにより所定基準方向(「走査」方向)にパターンを走査すると同時に、基板を前記方向と平行または逆平行に走査することで各ターゲット区画を照射する、いわゆるスキャナーとを含んでいる。

30

【0003】

リソグラフィ投影装置を使用する製造工程では、パターン(例えばマスク内の)が、少なくとも部分的に放射線感受性材料層(レジスト)で被覆された基板上に結像される。この結像段階の前に、基板には、種々の処理、例えばプライミング、レジスト被覆、ソフトベイク等が施される。露光後、基板には、他の処理、例えば露光後ベイク(PEB)、現像、ハードベイク、結像された形状特徴(features)の測定/検査等が行われる。この一連の処理は、例えばIC等のデバイスの個別層にパターン形成するための基礎として行われる。こうしてパターン形成された層は、次いで種々の処理、例えばエッチング、イオン注入(ドーピング)、金属化、酸化、化学・機械式研磨等の処理を受けるが、これらの処理は、すべて個別層を仕上げる意図のものである。数層を要する場合は、全処理、またはその変換形式を、各層で反復する必要がある。場合により、デバイスが基板(ウェーハ)上に配列される。これらのデバイスは、ダイシング又はソーイング等の技術で互いに分離され、次いで、個別のデバイスが、ピンに接続されたキャリア等に乗せられる。これらの処理に関するこれ以上の情報は、例えばピーター・ヴァン・ザント著『マイクロチップの製造：半導体処理便覧』(Peter van Zant: A Practic

40

50

al Guide to Semiconductor Processing) (第三版、1997年マグロウヒル出版社刊、ISBN 0-07-067250-4) から得ることができ、該情報は、ここに引用することで本明細書に取り入れられる。

【0004】

レジスト現像後の測定及び検査の段階は、通常のウェーハ製造工程内で行われるため、インラインと呼ばれるが、この段階は2つの目的を有している。第1は、現像されたレジスト内のパターンに欠陥があるターゲット区画を検出することである。かなりの数のダイに欠陥がある場合は、ウェーハは、パターン形成されたレジストを剥離して再露光され、欠陥パターンを例えばエッチング等の処理段階により、永久欠陥にならないように修正するのが望ましい。第2は、測定により、リソグラフィ装置内の誤差、例えば照明設定の誤差又は露光時間の誤差を検出し、修正して、次の露光を可能にすることである。しかし、リソグラフィ装置内に多くの誤差がある場合には、それらの誤差は、露光でプリントされたパターンからは、容易には検出又は定量化できない。また欠陥を検出しても、必ずしも直接にはその原因を明らかにできない。このため、リソグラフィ装置内の誤差の検出と測定のために、種々のオフライン措置が知られている。該措置には、基板を測定デバイスに替えたり、特別なテストパターンを、例えば種々の異なる機械設定で露光することも含まれている。これらのオフライン技術は、しばしばかなりの時間を食い、その間、装置を露光に使用することができない。したがって、リソグラフィ装置内の誤差の検出及び測定には、インライン技術、すなわち製造時の露光を使用可能な技術か、又は露光と同時に実施できる技術が好ましい。

【0005】

寸法誤差、例えばコマ収差によって発生するオーバーレイと左右の寸法差を測定するためには、影像に基づく工具、例えばオーバーレイ用のボックス・イン・ボックス (又はフレーム・イン・フレーム) が、またコマの場合の臨界寸法 (CD) を測定するためには、走査電子顕微鏡 (SEM) が、現在使用されている。これらの技術は、オフライン技術同様、投影系を、又は全ダイもしくは全ターゲット区画にわたる処理挙動を、必ずしも精密には反映しない局所的な測定しかできない欠点を有している。

【0006】

線幅、ピッチ、臨界寸法 (CD) の測定用に、デバイス製造で使用される一つのインライン技術は、「スキャタロメトリ」として知られるものである。スキャタロメトリの方法は、レイモンドほか著「光学スキャタロメトリを使用する多パラメータ格子計測法」 (Multiparameter Grating Metrology Using Optical Scatterometry) (J. Vac. Sci. Tech. B, Vol. 15, no. 2, 361~368, 1997) 及びニウほか著「DUVリソグラフィにおける鏡面分光スキャタロメトリ」 (Specular Spectroscopic Scatterometry in DUV Lithography) (SPIE, Vol. 3677, 1999) に記載されている。スキャタロメトリの場合、白色光が、現像されたレジストの断続的なパターンによって反射され、その結果生じる、所定角度での反射スペクトルが検出される。反射を引き起こす該パターンは、例えば精密結合波分析 (RCWA) を用いて再構成されるか、又はシミュレーションにより得られたスペクトルのライブラリと比較することで再構成される。しかし、該パターンの再構成は、計算が極めて高度であり、かつまたこの技術は、感度が低く、再現性も乏しい。

【0007】

リソグラフィにおけるスキャタロメトリの使用に関するこのほかの開示には、WO 02/065545 が含まれるが、その場合、2つの重なる格子からスキャタロメトリ測定によりオーバーレイが測定される。このことは、他の格子と重なっていない格子の1つをサンプルとして利用可能な場合でも、2つの重なる格子でのオーバーレイ測定を強制されることを示唆している。また、US 6,458,605 及び US 2002/0041373 では、スキャタロメトリ測定による情報を得る目的で、基準パターンの測定で得られた基準ライブラリが利用される。更に、US 2002/0041373 では、ウェーハ上の

等しいテスト格子のランダムに分布する収束エネルギーマトリックス（FEM）をプリントすることが提案され、マトリックスの測定から、特にマトリックス内の異なる格子のスカタロメトリ測定間の差から、情報が得られる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、リソグラフィ技術を利用してデバイスを製造する間に、インライン式に測定を行う検査方法、それも精度、感度、再現性のいずれか又はすべてが改善された検査方法を得ることである。

【発明を解決するための手段】

10

【0009】

前記及びその他の目的は、本発明により、次の段階、すなわち

リソグラフィ装置を使用して、互いに異なる第1と第2のパターン構成要素を組み合わせたテストパターンを基板上にプリントする段階と、

リソグラフィ装置を使用して、前記第1と第2のパターン構成要素に各々対応する第1と第2の基準パターンを前記基板上にプリントする段階と、

スカタロメータを使用して、前記テストパターンの第1、第2、第3の反射スペクトルと、前記第1及び第2の基準パターンの第1、第2、第3の反射スペクトルとを測定する段階と、

前記第1、第2、第3の反射スペクトルから前記基板上の前記テストパターンのパラメータを指示する情報を得る段階とを含む検査方法により達せられた。

20

【0010】

この方法により、基板上にプリントされたテストパターンのパラメータを迅速、精密、再現可能に測定することができる。テストパターンおよび基準パターンは、製作物の露光工程で、例えばスクライプ・ライン、エッジ・ダイ、その他の使用されない基板区域にプリントでき、有意な付加的時間を要しない。複数反射スペクトルは、スカタロメータにより、等しく迅速に、かつまた製造ラインの遅延なしに測定できる。本発明の測定方法は、したがって、定性又は校正の手段としてインラインで使用できる。

基準パターンを加えることで、単一テストパターンを使用するスカタロメトリに比して感度が改善され、スカタロメトリのデータから所望の情報を得る過程が簡単化される。幾つかの場合、基準パターンの再構成は、2構成要素のテストパターンの再構成より簡単で、最初に行われる。その場合、基準パターンの再構成の結果が、テストパターンの再構成に利用される。別の場合には、所望の情報が、異なるスペクトルを比較することで直接得られ、テストパターンの再構成を必要としない。

30

【0011】

本発明の好適実施例の場合、第1パターン構成要素は、第1プロセス層にプリントされた第1位置合わせマークを含み、第2パターン構成要素は、第1パターン構成要素にオーバーレイする第2プロセス層にプリントされた第2位置合わせマークを含んでいる。基準パターンは、対応基準位置合わせマーク含み、該マークは、第1プロセス層及び第2プロセス層各々にプリントされるが、オーバーレイはされない。この実施例により、基準位置合わせマークからのスカタロメトリ信号を利用してオーバーレイの精密かつ高感度の測定が可能になり、それにより、オーバーレイ誤差の検出処理前に、テストパターンからのスカタロメトリ信号が強化される。テストパターンからのスカタロメトリ信号は、測定を要するオーバーレイ誤差に影響されると同様に、位置合わせマークの歪みに影響されるが、この歪みは、位置合わせマークを形成する処理段階、かつ位置合わせマークを有する層間のプロセス層の中間で、該プロセス層を介して行われる処理段階で生じるものである。基準パターンにより、これらの影響は、オーバーレイの影響から分離することができる。

40

【0012】

本発明の別の好適実施例の場合、第1及び第2のパターン構成要素は、異なるピッチを

50

有する単一バーの複数の格子を含み、該格子が、内側ピッチ及び外側ピッチを有する２バーの格子パターンを含むテストパターンと組み合わせられている。第１及び第２の基準パターンは、各々、内側ピッチと等しいピッチを有する単一バーの格子と、外側ピッチに等しいピッチを有する単一のバー格子とを含んでいる。基準格子からのスカッタロメトリ信号は、２バーの格子の２構成要素の形状に関する情報を内包し、コマを指示する非対称情報を、スカッタロメトリによるテストパターンの応答から分離することができる。

#### 【００１３】

スカッタロメトリ段階は、現像されたレジストのパターン上で行うのが好ましいが、潜在的なレジスト影像の対照が十分な場合には、現像前に行ってもよい。収差は処理段階前に検出できるので、収差が欠陥デバイスを生むほど著しい場合には、レジストは除去して、基板を再転写工程に戻すことができる。

10

好ましくは、スカッタロメトリ段階は、垂直入射白色光によるスカッタロメータを使用して行う。

#### 【００１４】

本発明の別の態様によれば、デバイス製造方法であって、  
少なくとも部分的に放射線感受性材料層により覆われた基板を得る段階と、  
放射系を使用して放射投影ビームを得る段階と、  
パターンニング素子を使用して、投影ビームの横断面にパターンを付与する段階と、  
パターン付与された投影ビームを放射線感受性材料層のターゲット区画に投影する段階とを有する形式のものにおいて、

20

前記パターンが、プロセス層に相応するパターンと、互いに異なる第１及び第２のパターン構成要素の組み合わせを含むテストパターンと、前記第１及び第２のパターン構成要素に各々対応する基準パターンとを含み、かつまた

スカッタロメトリを使用して、前記テストパターンと、前記第１及び第２の基準パターンとの第１、第２、第３の反射スペクトルを測定する段階と、

前記基板上の前記テストパターンのパラメータを指示する情報を、前記第１、第２、第３の反射スペクトルから得る段階とを特徴としている。

#### 【００１５】

好ましくは、テストパターンは、製品層のパターンに隣接する区域、例えばスクライプ・ラインにプリントされる。このようにして、基板上には不必要なスペースは無くなり、最大の区域がデバイス製造用に確保できる。

30

本発明のこの態様の一好適実施例では、パラメータを指示する前記情報は、リソグラフィ装置又は処理工程のパラメータを調節するのに使用され、その後で、別の基板が用意され、パターンニング素子を使用しパターン付与されたビームを投影することで、投影ビームを得る段階が反復される。このようにして、基板上で行われたスカッタロメトリの成績を使用して、リソグラフィ装置又は処理工程を調節することで、後続の露光を改善することができる。

#### 【００１６】

本明細書では、特に集積回路の製造にリソグラフィ装置を使用する場合について説明するが、ここで説明されるリソグラフィ装置は、他の用途、例えば集積光学系、磁区メモリ用の案内・検出パターン、液晶ディスプレイ（ＬＣＤｓ）、薄膜磁気ヘッド等の製造にも使用できことが理解されよう。当業者には、そのような別の用途では、ここで用いられる「ウェーハ」又は「ダイ」の用語が、各々、より一般的な用語「基板」又は「ターゲット区画」と同義と考えられていることが分かるだろう。ここで言及される基板は、露光前又は露光後に、例えばトラック（通常、基板にレジスト層を被着させ、露光されたレジストを現像する用具）、計測用具、検査用具のいずれかで処理される。適用可能であれば、ここに開示したことは、前記及びその他の基板処理用具に適用してよい。更に、基板は、例えば多層ＩＣ製造のために、２回以上加工処理できるので、ここで用いる基板という用語は、すでに加工済みの多層を有する基板をも意味している。

40

#### 【００１７】

50

ここで用いる「放射線」及び「ビーム」という用語は、紫外線（UV）（例えば波長365、248、193、157、126nmのいずれかを有するもの）、極端紫外線（EUV）（例えば波長域5～20nmのもの）、粒子ビーム、例えばイオンビーム又は電子ビーム等、あらゆる種類の電磁放射線を包含するものである。

ここで使用する「パターンニング素子」という用語は、基板のターゲット区画にパターンが形成されるように、投影ビーム横断面にパターンを付与するのに使用できる素子を指すものと広義に解釈されたい。注意すべき点は、投影ビームに付与されるパターンは、基板のターゲット区画に設けられる目標パターンに正確には対応しない点である。概して、投影ビームに付与されるパターンは、ターゲット区画に形成されるデバイス、例えば集積回路の1つの特定機能層に対応する。

10

#### 【0018】

パターンニング素子は、透過性又は反射性である。パターンニング素子の例には、マスク、プログラム可能なミラー配列、プログラム可能なLCDパネルが含まれる。マスクは、リソグラフィにおいては周知であり、種々のマスク、例えばバイナリ型、交番位相シフト型、減衰位相シフト型などを含み、種々のハイブリッド型のマスクをも含んでいる。プログラム可能なミラー配列の一例では、小型ミラーの行列配置が採用されており、ミラーの各々は、個別に傾斜させて、入射ビームを異なる方向へ反射させることができる。このようにして、反射ビームにパターンが付与される。パターンニング素子の各例では、支持構造物は、例えばフレーム又はテーブルであり、該フレーム又はテーブルは、要求に応じて固定的に又は可動に配置でき、かつパターンニング素子が、例えば投影系に対し所望位置を占めるようにすることができる。また、ここでの用語「レチクル」又は「マスク」は、より一般的な用語「パターンニング素子」と同義と考えてよい。

20

#### 【0019】

ここでの用語「投影系」は、種々の投影系、例えば屈折光学系、反射光学系、反射屈折光学系を含むものとして、また、例えば、使用される露光放射線又は、浸漬流体や真空等の他の要素にも適するものとして、広く解釈されたい。更に、ここでの用語「レンズ」も、より広義の用語「投影系」と同義と考えてよい。

照明系は、また放射投影ビームの指向、付形、制御いずれか用の屈折、反射、屈折反射各光学素子を含む種々の光学的な構成素子を包含するものであり、該素子は、また以下で集合的に又は単独で「レンズ」とも呼ばれる。

30

#### 【0020】

リソグラフィ装置は、2つ（2ステージ）以上の基板テーブル（及び／又は2つ以上のマスクテーブル）を有する種類のものである。このような「多ステージ」装置では、付加テーブルが並列的に使用されるか、又は準備段階が1つ以上のテーブルで行われる一方、1つ以上の他のテーブルが露光に使用される。

リソグラフィ装置は、また基板を比較的屈折率の高い液体、例えば水に浸漬することで、投影系の最終素子と基板との間の空間を満たす種類のものでもよい。浸漬液体は、またリソグラフィ装置の他の空間、例えばマスクと投影系の第1素子との間にも満たすことができる。浸漬技術は、技術上公知であり、該技術により投影系の開口数を増すことができる。

40

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0021】

以下で、本発明の複数実施例を添付略示図を参照して説明するが、該実施例は、単なる実施例に過ぎない。

図1は、本発明の一実施例によるリソグラフィ投影装置を略示したものである。該装置には、

放射投影ビーム（例えばUV放射線又はDUV放射線）PBを得るための照明系（照明器）ILと、

パターンニング素子（例えばマスク）MAを支持し、かつ素子PLに対するパターンニング素子の精密位置決め用の第1位置決め素子PMに接続された第1支持構造物（例えばマス

50

クテーブル)MTと、

基板(例えばレジスト被覆ウェーハ)Wを支持し、かつ素子PLに対し基板を精密位置決めするための第2位置決め素子PWに接続された基板テーブル(例えばウェーハテーブル)WTと、

パターンニング素子MAにより投影ビームPBに付与されたパターンを、基板Wのターゲット区画C(例えば1個以上のダイを含む)上に結像させるための投影系(例えば屈折投影レンズ)PLとが含まれている。

#### 【0022】

図示のように、該装置は透過型である(例えば透過性マスクを有している)。あるいはまた、該装置は、反射型(例えば既述の種類のプログラム可能なミラー配列を用いた)装置でもよい。 10

照明器ILは、放射線源SOから放射ビームを受け取る。線源とリソグラフィ装置とは、例えば線源がエキシマレーザの場合は、別個のユニットである。その場合、線源は、リソグラフィ装置の一部を形成するとは考えられておらず、放射ビームは、線源SOから、例えば適当な指向性ミラー及び/又はビームエキスパンダを含むビーム放出系BDを介して照明器ILへ達する。別の場合、例えば線源が水銀灯の場合、線源はリソグラフィ装置に統合された一部となる。線源SOと照明器ILとは、必要であれば、ビーム放出系BDと引くくめて放射系と呼んでよい。

#### 【0023】

照明器ILは、ビームの角強度分布を調節するための調節素子AMを含んでいる。一般に、照明器の瞳平面内での角強度分布の少なくとも半径方向外方及び/又は内方の範囲(通常、各々 $\sigma$ 外域及び $\sigma$ 内域と呼ばれる)は調節できる。加えて、照明器ILは、概して、種々の他の構成素子、例えば積分器INや集光レンズCOを含んでいる。照明器により、投影ビームPBと呼ばれる条件付けられた放射ビーム、すなわち横断面に所望の均一性と角強度分布とを有するビームが得られる。 20

#### 【0024】

投影ビームPBは、マスクテーブルMTに支持されたマスクMAに入射する。マスクMAを通過した投影ビームPBは、レンズPLを通過し、該レンズにより基板Wのターゲット区域Cに収束される。基板テーブルWTを、第2位置決め素子PWと位置センサIF(例えば干渉計デバイス)とにより精密に移動させることで、例えば、異なるターゲット区域CをビームPBの経路内に位置決めすることができる。同じように、マスクを、例えばマスク・ライブラリから機械的に回収した後に、又は走査中に、第1位置決め素子PMと別の位置センサ(図1には明示されていない)とを使用して、ビームPBの経路に対し精密にマスクMAを位置決めすることができる。概して、マスクテーブルMTと基板テーブルWTとの移動は、長行程モジュール(粗位置決め)と短行程モジュール(精密位置決め)とにより実現されるが、これらのモジュールは、位置決め素子PM、PWの一部を形成している。しかし、ステッパーの場合(スキャナーとは異なり)、マスクテーブルMTは、短行程アクチュエータにのみ接続されるか、又は固定される。マスクMAと基板Wとは、マスク位置合わせマークM1、M2と基板位置合わせマークP1、P2とを使用することで位置合わせされる。 30 40

#### 【0025】

図示の装置は、次の好適なモードで使用できる：

1. ステップモードでは、マスクテーブルMTと基板テーブルWTとが、事実上定置のまま、投影ビームに付与された全パターンが1つのターゲット区画Cに一括投影(すなわち単一の静止露光で)される。次いで、基板テーブルWTがX方向及び/又はY方向に変位され、それによって別の1つのターゲット区画Cが露光される。ステップモードでは、露光区域の最大寸法によって、単一の静止露光で結像されるターゲット区画の寸法が制限される。

2. 走査モードでは、マスクテーブルMTと基板テーブルWTとが同時に走査される一方、投影ビームに付与されたパターンが、ターゲット区画C(例えば単一の動的露光) 50



に投影される。マスクテーブルMTに対する基板テーブルWTの速度と方向とは、投影系PLの倍率（縮尺）及び画像反転特性により決定される。走査モードでは、露光区域の寸法により、単一の動的露光でのターゲット区画の幅（非走査方向での）が制限される一方、走査運動の距離により、ターゲット区画の高さ（走査方向での）が制限される。

3. 別のモードの場合、プログラム可能なパターンニング素子を支持するマスクテーブルMTは事実上定置のままで、基板テーブルWTのほうを移動させるか走査するかして、投影ビームに付与されたパターンがターゲット区画Cへ投影される。このモードでは、概して、パルス放射線源が用いられ、プログラム可能なパターンニング素子が、基板テーブルWTの各移動後に、又は走査中の連続放射パルスの中に、要求どおりに更新される。この操作モードは、プログラム可能なパターンニング素子、例えば既述の種類のプログラム可能ミラー配列を利用する無マスクのリソグラフィに、容易に適用できる。

#### 【0026】

前述の各モードの組み合わせ及び／又は変形も使用できるが、全く異なるモードを使用することもできる。

図2は、本発明が一部をなしているリソグラフィ処理工程の流れ図である。図1に関連して既に説明したリソグラフィ装置を使用して行われる露光段階S4の前に、基板、例えばシリコンウェーハは、プライミング段階S1、レジスト層を被覆する回転コーティング段階S2、レジストから溶剤を除去するソフトベイク段階S3の各段階で処理を受ける。露光後、ウェーハは、検査段階S8の前に、露光後ベイク段階S5、（レジストが陽画用か陰画用かに応じて）露光レジスト又は非露光レジストが除去される現像段階S6、ハードベイク段階S7の各段階で処理を受ける。検査段階S8は、種々異なる測定及び検査を含み、かつまた以下で説明する、本発明によるスカタロメトリ段階を含んでいる。ウェーハが検査段階を通過すると、処理段階S9が行われる。この段階は、レジスト被覆されていない基板区域のエッチング、製品層の被着、金属化、イオン注入等々を含んでいる。処理段階S9の後、残存レジストは、剥離段階S10で剥がされ、最終検査段階S11が実施された後、別の層のための処理工程が再開される。基板は、検査段階S8で不合格になると、直接に剥離段階S9が実施され、同じプロセス層をプリントする別の工程が試みられる。

#### 【0027】

検査段階S8では、図3に示すようなスカタロメータが使用される。しかし、別の器具を用いて、別の検査及び／又は測定も行ってもよい。スカタロメータ10は、ビームスプリッタ12を介してウェーハW上のテストパターンTSに放射線に向ける広帯域（白色光）放射線源11を含んでいる。反射された放射線は分光計13へ入射し、該分光計が、鏡面反射放射線のスペクトル（波長の関数である強度）を測定する。このデータから、例えば精密結合波分析及び非線形回帰により、又はシミュレーション・スペクトルのライブラリとの比較により、検出スペクトルを発生させたパターンを再構成する。概して、この再構成の場合、パターン全体の形状は既知であり、幾つかのパラメータは、該パターンを製造する処理工程の知識から推定され、スカタロメトリ・データにより決定されるパターン・パラメータは僅かだけである。

図示のように、スカタロメータは、垂直入射スカタロメータである。しかし、同じ原理は、傾斜入射スカタロメータを使用する場合にも適用できる。単一角度での、或る波長範囲の反射ではなく、むしろ単一波長の、或る角度範囲での反射が測定されるスカタロメトリの変形形式を使用してもよい。

#### 【実施例1】

#### 【0028】

オーバーレイの測定に使用される本発明の第1方法によれば、基板W上にプリントされたテストパターンGは、上面のプロセス層TLにプリントされた第1マーク又は第1パターン構成要素G1と、底面のプロセス層BLにプリントされた第2マーク又は第2パターン構成要素G2とを含んでいる。マークG1、G2は、何らかの好都合な形状、例えば格子、チェッカー盤、ボックス、フレーム、山形等にすることができる。マークの形状を選

10

20

30

40

50

択することで、再構成が容易になり、特に格子形状を使用することで、迅速な再構成技術が可能になる。マークの種類を選択することで、また感度も改善される。申し分なくプリントされ、後続工程の影響も無い場合には、2つのマークG1、G2は、等しくなり、かつオーバーレイ誤差も無く、正確に整合する。第1と第2のマーク（パターン構成要素）は、形状は等しいが、それらの位置は基板上のプロセス層により異なっている。マークG1、G2を含むテストパターンが、垂直に入射する偏光で照明された場合、反射されたTE、TM又は位相信号は、2つの格子の相対位置についての情報を含んでいる。しかし、格子G1、G2及び干渉を含む表面及び底面の層TL、BLの間の中間プロセス層IL内での内部反射のため、オーバーレイ情報を含む総反射信号の振幅は、極めて弱く、SN比の値が低い。その他のノイズは、プリント中にマークG1、G2に生じる歪みにより誘発され、底面の層のマークG2の場合、歪みはプリントのために行われる工程により誘発される。

#### 【0029】

本発明によれば、オーバーレイの測定を改善するため、2つの基準パターンRG1、RG2が、テストパターンの2つの構成要素G1、G2と同時にプリントされる。基準パターンRG1は、表面の層TLに設けられ、第1マークG1に対応する。基準パターンRG2は、底面の層BLに設けられ、第2マークG2に対応する。基準パターンRG1、RG2は、互いに近接し、かつマークG1、G2を含むテストパターンにも近接し、しかし互いに間隔をおいて、かつ該テストパターンからも間隔をおいてプリントされる。基準パターンRG1、RG2とテストパターンとは、プリント工程又は後続工程で生じる歪みに等しく影響されるように、互いに十分に近接していなければならない。同時に、クロストークなしにスキャタロメトリ測定が可能になるように、十分な間隔を有していなければならない。

#### 【0030】

基準パターンRG1、RG2は、テストパターンG1、G2と同じように照明された場合、各格子G1、G2の情報のみを内包するスキャタロメトリ信号S2、S3を発生させる。スキャタロメトリ信号S2、S3は、強化されたスキャタロメトリ信号S1-eを得るため、スキャタロメトリ信号S1を正規化するのに使用できる。その一例は、図7に示されており、この図から分かることは、強化された信号S1-eは、はるかに大きい振幅を有するが、原信号と等位相の位置特徴を保有している。SN比は、効果的に改善されている。強化されたオーバーレイ信号は、3つの鏡面分光信号から得られる。第1の信号は、2つのオーバーレイ格子により発生せしめられるオーバーレイ「生」信号である。第2と第3の信号は、底面と表面の基準パターンにより発生する信号である。その場合、強化オーバーレイ信号は、表面の基準パターンによる信号から、底面の基準パターンによる信号を差し引いた値で、オーバーレイ生信号を除すことで得られる。

#### 【実施例2】

#### 【0031】

図8～図10には、本発明の第2の方法に使用される格子が示されている。本発明の第2の方法は、リソグラフィ装置、特に投影系PLのコマ収差、又は基板に施される処理工程に起因する差寸法非対称性を測定する。

図8から分かるように、テストパターンGは、内側ピッチP1と外側ピッチPoを有する2バーの格子を含んでいる。第1パターン構成要素は、内側ピッチP1に等しいピッチの単一バーの格子を含み、第2パターン構成要素は、外側ピッチP1に等しいピッチの単一バーの格子を含んでいる。図9と図10には、2つの基準パターンRG1'、RG2'が示され、該基準パターンは、各々、ピッチP1の単一の格子と、ピッチPoの単一の格子とを含んでいる。

#### 【0032】

第1の方法の場合同様に、テストパターンGと基準パターンRG1'、RG2'とは、鏡面偏光により同じように照明される。その結果得られる反射スペクトルS1'、S2'、S3'は、格子の実際の形状に関する情報同様、差寸法非対称性に関する情報をも含んでい

る。差寸法非対称性についての情報は、2ピッチ格子からの反射スペクトル $S1'$ に含まれている一方、スペクトル $S2'$ 、 $S3'$ は、格子自体に関する情報を含んでいる。第1の方法の場合のように、反射スペクトル $S2'$ 、 $S3'$ は、反射スペクトル $S1'$ の強化に使用され、 $SN$ 比が改善された寸法非対称性の情報を内包する信号が得られる。

以上、本発明の実施例を説明したが、本発明は、既述の説明とは別様に実施することとできることは言うまでもない。既述の説明は、本発明を制限する意図のものではない。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0033】

【図1】本発明による方法の実施に使用するリソグラフィ投影装置を示す図である。

【図2】本発明の一実施例によるリソグラフィ工程の流れ図である。

10

【図3】本発明の方法に使用可能なスキャタロメータを示す図である。

【図4】本発明の第1方法に使用するテストパターンと第1及び第2の基準パターンとを示す図である。

【図5】本発明の第1方法に使用するテストパターンと第1及び第2の基準パターンとを示す図である。

【図6】本発明の第1方法に使用するテストパターンと第1及び第2の基準パターンとを示す図である。

【図7】オーバーレイ生信号と本発明の第1方法により強化されたオーバーレイ信号とを示す図である。

【図8】本発明の第2方法に使用するテストパターンと第1及び第2の基準パターンとを示す図である。

20

【図9】本発明の第2方法に使用するテストパターンと第1及び第2の基準パターンとを示す図である。

【図10】本発明の第2方法に使用するテストパターンと第1及び第2の基準パターンとを示す図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0034】

SO 線源

BD ビーム放出素子

IL 照明系

30

AM 調節装置

IN 積分器

CO 集光レンズ

PB 投影ビーム

MA マスク

MT マスクテーブル

M1, M2 マスク位置合わせマーク

PM 第1位置決め素子

PL 投影系(レンズ)

W 基板

40

WT 基板テーブル

PW 位置決め素子

IF 位置センサ

C ターゲット区画

P1, P2 基板位置合わせマーク

TS テストパターン

10 スキャタロメータ

11 線源

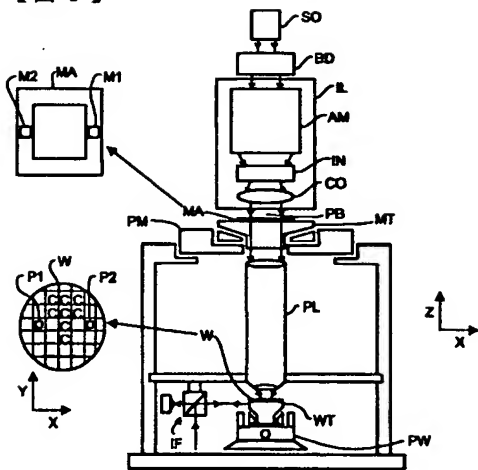
13 分光計

G1, G2 パターン構成要素

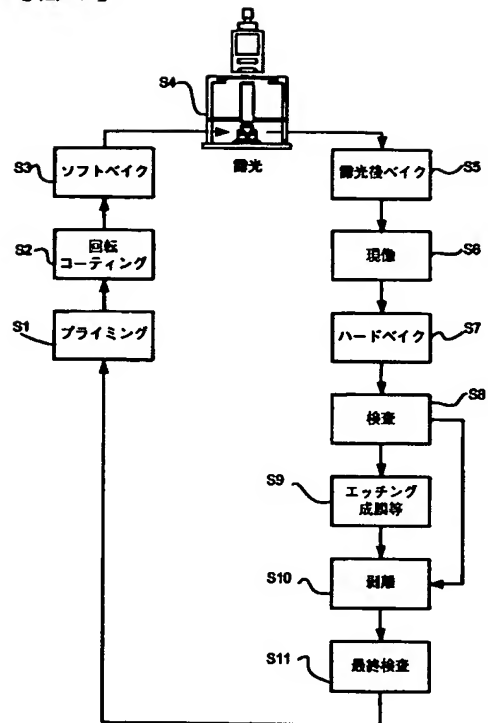
50

T L 表面の層  
 B L 底面の層  
 I L 中間層  
 S 1, S 2, S 3 スキャタロメトリ信号  
 R G 1, R G 2 基準パターン

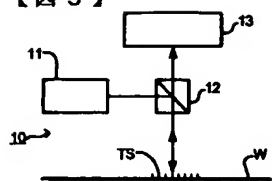
【図 1】



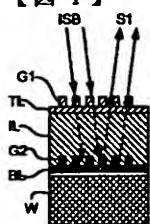
【図 2】



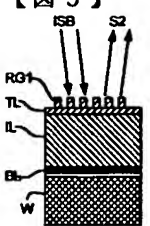
【図 3】



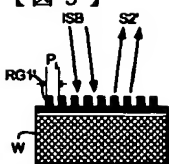
【図 4】



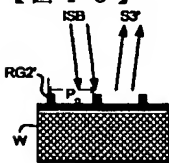
【図 5】



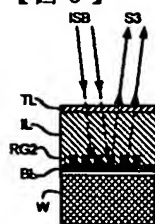
【図 9】



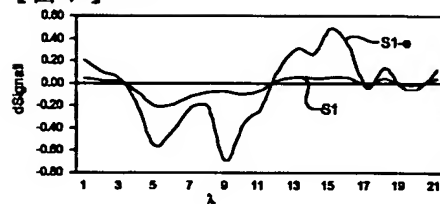
【図 10】



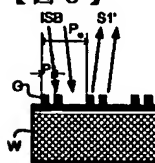
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 マーシア ドゥーサ

アメリカ合衆国 カリフォルニア、キャンベル、 ウェストモント アヴェニュー 1645

(72)発明者 アリー ジェフリー デン ボーフ

オランダ国 ワールレ、ヘット フォルト 35

Fターム(参考) 2H095 BA01 BD02 BD11 BD23

【外国語明細書】

**Inspection Method and Device Manufacturing Method**

The present invention relates to methods of inspection useable in the  
5 manufacture of devices by lithographic techniques and to methods of manufacturing devices  
using lithographic techniques.

A lithographic apparatus is a machine that applies a desired pattern onto a target  
10 portion of a substrate. Lithographic apparatus can be used, for example, in the manufacture of  
integrated circuits (ICs). In that circumstance, a patterning means, such as a mask, may be  
used to generate a circuit pattern corresponding to an individual layer of the IC, and this  
pattern can be imaged onto a target portion (e.g. comprising part of, one or several dies) on a  
substrate (e.g. a silicon wafer) that has a layer of radiation-sensitive material (resist). In  
15 general, a single substrate will contain a network of adjacent target portions that are  
successively exposed. Known lithographic apparatus include so-called steppers, in which each  
target portion is irradiated by exposing an entire pattern onto the target portion in one go, and  
so-called scanners, in which each target portion is irradiated by scanning the pattern through  
the projection beam in a given direction (the "scanning"-direction) while synchronously  
20 scanning the substrate parallel or anti-parallel to this direction.

In a manufacturing process using a lithographic projection apparatus, a pattern (e.g.  
in a mask) is imaged onto a substrate that is at least partially covered by a layer of  
radiation-sensitive material (resist). Prior to this imaging step, the substrate may undergo  
various procedures, such as priming, resist coating and a soft bake. After exposure, the  
25 substrate may be subjected to other procedures, such as a post-exposure bake (PEB),  
development, a hard bake and measurement/inspection of the imaged features. This array of  
procedures is used as a basis to pattern an individual layer of a device, e.g. an IC. Such a  
patterned layer may then undergo various processes such as etching, ion-implantation  
(doping), metallization, oxidation, chemo-mechanical polishing, etc., all intended to finish off  
30 an individual layer. If several layers are required, then the whole procedure, or a variant  
thereof, will have to be repeated for each new layer. Eventually, an array of devices will be  
present on the substrate (wafer). These devices are then separated from one another by a  
technique such as dicing or sawing, whence the individual devices can be mounted on a

- 2 -

carrier, connected to pins, etc. Further information regarding such processes can be obtained, for example, from the book "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing", Third Edition, by Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4, incorporated herein by reference.

5           The measurement and inspection step after development of the resist, referred to as in-line because it is carried out in the normal course of processing production wafers, serves two purposes. Firstly, it is desirable to detect any target areas where the pattern in the developed resist is faulty. If a sufficient number of dies are faulty, the wafer can be stripped of the patterned resist and re-exposed, hopefully correctly, rather than making the fault  
10 permanent by carrying out a process step, e.g. an etch, with a faulty pattern. Secondly, the measurements may allow errors in the lithographic apparatus, e.g. in illumination settings or exposure times, to be detected and corrected for subsequent exposures. However, many errors in the lithographic apparatus cannot easily be detected or quantified from the patterns printed in exposures. Detection of a fault does not always lead directly to its cause. Thus, a variety of  
15 off-line procedures for detecting and measuring errors in the lithographic apparatus are known. These may involve replacing the substrate with a measuring device or carrying out exposures of special test patterns, e.g. at a variety of different machine settings. Such off-line techniques take time, often a considerable amount, during which the apparatus cannot be used for production exposures. Therefore, in-line techniques, that is ones which can be carried out  
20 using or at the same time as production exposures, for detecting and measuring errors in the lithographic apparatus are preferred.

          To measure dimensional errors, such as overlay and left-right dimensional differences caused by comatic aberration, image-based tools, such as box-in-box (or frame-in-frame) for overlay and scanning electron microscopes (SEM) to measure critical dimensions  
25 (CD) for coma, are used at present. These techniques, as well as being off-line, have the disadvantage that they make localized measurements which do not necessarily accurately reflect the projection system or process behavior over the full die or target area.

          One in-line technique used in device manufacturing for measurements of linewidth, pitch and critical dimension (CD) is known as "scatterometry". Methods of scatterometry are  
30 described in Raymond *et al* "Multiparameter Grating Metrology Using Optical Scatterometry", J. Vac. Sci. Tech. B, Vol.15 no.2 361-368 1997 and Niu *et al* "Specular Spectroscopic Scatterometry in DUV Lithography", SPIE, Vol. 3677, 1999. In scatterometry, white light is reflected by periodic structures in the developed resist and the resulting



- 3 -

reflection spectrum at a given angle detected. The structure giving rise to the reflection spectrum is reconstructed, e.g. using Rigorous Coupled-Wave Analysis (RCWA) or by comparison to a library of spectra derived by simulation. However, the reconstruction of the structure is computationally very intensive and the technique can suffer from low sensitivity  
5 and poor repeatability.

Other disclosures of the use of scatterometry in lithography include WO 02/065545 which proposes to measure overlay by scatterometry measurements from two overlying gratings. It suggests that if a sample of one of the gratings not overlain by the other is available, measurements may be taken to constrain the measurement of overlay derived from  
10 the two overlying gratings. US 6,458,605 and US 2002/0041373 utilize reference libraries derived from measurements of reference structures to aid in derivation of information from scatterometry measurements. US 2002/0041373 proposes printing a randomly distributed focus-energy matrix (FEM) of identical test gratings on a wafer and derives information from scatterometry measurements thereof, especially from differences between scatterometry  
15 measurements from different gratings in the matrix.

It is an object of the present invention to provide an in-line method of making measurements during manufacture of devices using lithographic techniques that has improved  
20 accuracy, sensitivity and/or repeatability.

This and other objects are achieved according to the invention in an inspection method comprising:

using a lithographic apparatus to print onto a substrate a test pattern comprising a combination of first and second pattern components, said first pattern component being  
25 different from said second pattern component;

using a lithographic apparatus to print onto said substrate first and second reference patterns corresponding respectively to said first and second pattern components;

using a scatterometer to measure first, second and third reflection spectra of said test pattern and said first and second reference patterns; and

30 deriving from said first, second and third reflection spectra information indicative of a parameter of said test pattern on said substrate.

By this method, a rapid, accurate and repeatable measurement of a parameter of the test pattern as printed on the substrate can be made. The test and reference patterns can be

- 4 -

printed in the course of production exposures, for example in a scribe lane or edge die or other unused area of the substrate, without requiring significant additional time. The reflection spectra can be measured by the scatterometer equally quickly and without delaying the production line. The measurement method of the invention can therefore be used in-line, as a  
5 qualification or calibration tool.

The addition of the reference patterns improves the sensitivity as compared to scatterometry techniques using a single test pattern and can simplify the process of deriving the desired information from the scatterometry data. In some cases, reconstruction of the reference patterns is simpler than reconstruction of the two-component test pattern and is  
10 performed first. The results of the reconstruction of the reference pattern are then used to simplify reconstruction of the test pattern. In other cases, the desired information can be obtained directly from comparison of the different spectra, without the necessity for reconstruction of the test pattern.

In one preferred embodiment of the invention, the first pattern component comprises  
15 a first alignment marker printed in a first process layer and the second pattern component comprises a second alignment marker printed in a second process layer overlying the first pattern component. The reference patterns comprise corresponding reference alignment markers printed in the first and second process layers respectively, but not overlaid. This embodiment enables an accurate and sensitive measurement of overlay by using the  
20 scatterometry signals from the reference alignment marks to enhance the scatterometry signal from the test pattern prior to processing to determine the overlay error. The scatterometry signal from the test pattern is affected by distortions of the alignment markers due to the process steps used to form them and carried out in between and by the process layers between the layers carrying the alignment markers, as well as by the overlay error which it is desired to  
25 measure. The reference patterns enable these effects to be separated from the effect of overlay.

In another preferred embodiment of the invention, the first and second pattern components comprise single bar gratings having different pitches which are combined into a test pattern comprising a two-bar grating pattern having an inner pitch and an outer pitch. The  
30 first and second reference patterns comprise respectively a single bar grating having a pitch equal to the inner pitch and a single bar grating having a pitch equal to the outer pitch. The scatterometry signals from the reference gratings contain information as to the form of the two

components of the two-bar grating and enable the asymmetry information that is indicative of coma to be isolated from the scatterometry response of the test pattern.

Preferably the scatterometry step is carried out on the pattern in developed resist although if there is sufficient contrast in the latent resist image, the scatterometry step may be carried out before development. Because the aberration is detected before a process step is carried out, if the aberration is severe enough to result in a defective device, the resist can be stripped and the substrate put back into the process for re-imaging.

Preferably, the scatterometry step(s) is (are) carried out using normal incidence, white light scatterometry.

10 According to a further aspect of the invention there is provided a device manufacturing method comprising:

- providing a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material;
- providing a projection beam of radiation using a radiation system;
- 15 - using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
- projecting the patterned beam of radiation onto a target portion of the layer of radiation-sensitive material,

characterized in that:

20 said pattern comprises: a pattern representing a process layer; a test pattern comprising a combination of first and second pattern components, said first pattern component being different from said second pattern component; and first and second reference patterns corresponding respectively to said first and second pattern components; and by:

25 using a scatterometer to measure first, second and third reflection spectra of said test pattern and said first and second reference patterns; and

deriving from said first, second and third reflection spectra information indicative of a parameter of said test pattern on said substrate.

Preferably, the test pattern is printed in an area adjacent the pattern of the production layer, such as a scribe lane. In this way, no unnecessary space is taken up on the substrate and a maximum area remains for production of devices.

In a preferred embodiment of this aspect of the invention, said information indicative of a parameter is used to adjust a parameter of the lithographic apparatus or process after

- 6 -

which a further substrate is provided and said steps of providing a projection beam, using patterning means and projecting the patterned beam, are repeated. In this way, the results of scatterometry measurements taken on one substrate can be used to adjust the lithographic apparatus or process so that subsequent exposures are improved.

5           Although specific reference may be made in this text to the use of lithographic apparatus in the manufacture of ICs, it should be understood that the lithographic apparatus described herein may have other applications, such as the manufacture of integrated optical systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, liquid-crystal displays (LCDs), thin-film magnetic heads, etc. The skilled artisan will appreciate that, in the  
10       context of such alternative applications, any use of the terms "wafer" or "die" herein may be considered as synonymous with the more general terms "substrate" or "target portion", respectively. The substrate referred to herein may be processed, before or after exposure, in for example a track (a tool that typically applies a layer of resist to a substrate and develops the exposed resist) or a metrology or inspection tool. Where applicable, the disclosure herein  
15       may be applied to such and other substrate processing tools. Further, the substrate may be processed more than once, for example in order to create a multi-layer IC, so that the term substrate used herein may also refer to a substrate that already contains multiple processed layers.

          The terms "radiation" and "beam" used herein encompass all types of  
20       electromagnetic radiation, including ultraviolet (UV) radiation (e.g. having a wavelength of 365, 248, 193, 157 or 126 nm) and extreme ultra-violet (EUV) radiation (e.g. having a wavelength in the range of 5-20 nm), as well as particle beams, such as ion beams or electron beams.

          The term "patterning means" used herein should be broadly interpreted as referring to  
25       means that can be used to impart a projection beam with a pattern in its cross-section such as to create a pattern in a target portion of the substrate. It should be noted that the pattern imparted to the projection beam may not exactly correspond to the desired pattern in the target portion of the substrate. Generally, the pattern imparted to the projection beam will correspond to a particular functional layer in a device being created in the target portion, such  
30       as an integrated circuit.

          Patterning means may be transmissive or reflective. Examples of patterning means include masks, programmable mirror arrays, and programmable LCD panels. Masks are well known in lithography, and include mask types such as binary, alternating phase-shift, and

- 7 -

attenuated phase-shift, as well as various hybrid mask types. An example of a programmable mirror array employs a matrix arrangement of small mirrors, each of which can be individually tilted so as to reflect an incoming radiation beam in different directions; in this manner, the reflected beam is patterned. In each example of patterning means, the support  
5 structure may be a frame or table, for example, which may be fixed or movable as required and which may ensure that the patterning means is at a desired position, for example with respect to the projection system. Any use of the terms "reticle" or "mask" herein may be considered synonymous with the more general term "patterning means".

The term "projection system" used herein should be broadly interpreted as  
10 encompassing various types of projection system, including refractive optical systems, reflective optical systems, and catadioptric optical systems, as appropriate for example for the exposure radiation being used, or for other factors such as the use of an immersion fluid or the use of a vacuum. Any use of the term "lens" herein may be considered as synonymous with the more general term "projection system".

15 The illumination system may also encompass various types of optical components, including refractive, reflective, and catadioptric optical components for directing, shaping, or controlling the projection beam of radiation, and such components may also be referred to below, collectively or singularly, as a "lens".

The lithographic apparatus may be of a type having two (dual stage) or more  
20 substrate tables (and/or two or more mask tables). In such "multiple stage" machines the additional tables may be used in parallel, or preparatory steps may be carried out on one or more tables while one or more other tables are being used for exposure.

The lithographic apparatus may also be of a type wherein the substrate is immersed  
25 in a liquid having a relatively high refractive index, e.g. water, so as to fill a space between the final element of the projection system and the substrate. Immersion liquids may also be applied to other spaces in the lithographic apparatus, for example, between the mask and the first element of the projection system. Immersion techniques are well known in the art for increasing the numerical aperture of projection systems.

30

Embodiments of the invention will now be described, by way of example only, with reference to the accompanying schematic drawings in which:

- 8 -

Figure 1 depicts a lithographic projection apparatus that may be used in the performance methods according to the invention;

Figure 2 is a flow diagram of a lithographic process according to an embodiment of the invention;

5        Figure 3 depicts a scatterometer useable in methods according to the present invention;

Figures 4 to 6 depict a test pattern and first and second reference patterns used in a first method according to the present invention;

10       Figure 7 depicts a raw overlay signal and an overlay signal enhanced according to the first method according to the present invention; and

Figures 8 to 10 depict a test pattern and first and second reference patterns used in a second method according to the present invention.

In the Figures, corresponding reference symbols indicate corresponding parts.

15

#### Lithographic Projection Apparatus

Figure 1 schematically depicts a lithographic apparatus according to a particular embodiment of the invention. The apparatus comprises:

- 20       - an illumination system (illuminator) IL for providing a projection beam PB of radiation (e.g. UV radiation or DUV radiation).
- a first support structure (e.g. a mask table) MT for supporting patterning means (e.g. a mask) MA and connected to first positioning means PM for accurately positioning the patterning means with respect to item PL;
- 25       - a substrate table (e.g. a wafer table) WT for holding a substrate (e.g. a resist-coated wafer) W and connected to second positioning means PW for accurately positioning the substrate with respect to item PL; and
- a projection system (e.g. a refractive projection lens) PL for imaging a pattern imparted to the projection beam PB by patterning means MA onto a target portion C (e.g.
- 30       comprising one or more dies) of the substrate W.

As here depicted, the apparatus is of a transmissive type (e.g. employing a transmissive mask). Alternatively, the apparatus may be of a reflective type (e.g. employing a programmable mirror array of a type as referred to above).

- 9 -

The illuminator IL receives a beam of radiation from a radiation source SO. The source and the lithographic apparatus may be separate entities, for example when the source is an excimer laser. In such cases, the source is not considered to form part of the lithographic apparatus and the radiation beam is passed from the source SO to the illuminator IL with the aid of a beam delivery system BD comprising for example suitable directing mirrors and/or a beam expander. In other cases the source may be integral part of the apparatus, for example when the source is a mercury lamp. The source SO and the illuminator IL, together with the beam delivery system BD if required, may be referred to as a radiation system.

The illuminator IL may comprise adjusting means AM for adjusting the angular intensity distribution of the beam. Generally, at least the outer and/or inner radial extent (commonly referred to as  $\sigma$ -outer and  $\sigma$ -inner, respectively) of the intensity distribution in a pupil plane of the illuminator can be adjusted. In addition, the illuminator IL generally comprises various other components, such as an integrator IN and a condenser CO. The illuminator provides a conditioned beam of radiation, referred to as the projection beam PB, having a desired uniformity and intensity distribution in its cross-section.

The projection beam PB is incident on the mask MA, which is held on the mask table MT. Having traversed the mask MA, the projection beam PB passes through the lens PL, which focuses the beam onto a target portion C of the substrate W. With the aid of the second positioning means PW and position sensor IF (e.g. an interferometric device), the substrate table WT can be moved accurately, e.g. so as to position different target portions C in the path of the beam PB. Similarly, the first positioning means PM and another position sensor (which is not explicitly depicted in Figure 1) can be used to accurately position the mask MA with respect to the path of the beam PB, e.g. after mechanical retrieval from a mask library, or during a scan. In general, movement of the object tables MT and WT will be realized with the aid of a long-stroke module (coarse positioning) and a short-stroke module (fine positioning), which form part of the positioning means PM and PW. However, in the case of a stepper (as opposed to a scanner) the mask table MT may be connected to a short stroke actuator only, or may be fixed. Mask MA and substrate W may be aligned using mask alignment marks M1, M2 and substrate alignment marks P1, P2.

The depicted apparatus can be used in the following preferred modes:

1. In step mode, the mask table MT and the substrate table WT are kept essentially stationary, while an entire pattern imparted to the projection beam is projected onto a target portion C in one go (i.e. a single static exposure). The substrate table WT is then shifted in the

- 10 -

X and/or Y direction so that a different target portion C can be exposed. In step mode, the maximum size of the exposure field limits the size of the target portion C imaged in a single static exposure.

2. In scan mode, the mask table MT and the substrate table WT are scanned  
5 synchronously while a pattern imparted to the projection beam is projected onto a target portion C (i.e. a single dynamic exposure). The velocity and direction of the substrate table WT relative to the mask table MT is determined by the (de-)magnification and image reversal characteristics of the projection system PL. In scan mode, the maximum size of the exposure field limits the width (in the non-scanning direction) of the target portion in a single dynamic  
10 exposure, whereas the length of the scanning motion determines the height (in the scanning direction) of the target portion.

3. In another mode, the mask table MT is kept essentially stationary holding a programmable patterning means, and the substrate table WT is moved or scanned while a pattern imparted to the projection beam is projected onto a target portion C. In this mode,  
15 generally a pulsed radiation source is employed and the programmable patterning means is updated as required after each movement of the substrate table WT or in between successive radiation pulses during a scan. This mode of operation can be readily applied to maskless lithography that utilizes programmable patterning means, such as a programmable mirror array of a type as referred to above.

20 Combinations and/or variations on the above described modes of use or entirely different modes of use may also be employed.

Figure 2 is a flow diagram of a lithographic process of which the present invention may form part. Prior to the exposure step S4, which may be carried out using a lithographic apparatus such as described above with relation to Figure 1, a substrate, e.g. a silicon wafer,  
25 undergoes a priming step S1, spin coating step S2 to coat it with a layer of resist and a soft bake S3 to remove solvents from the resist. After exposure, the wafer undergoes a post-exposure bake S5, a development step S6 during which the exposed or unexposed resist (depending on whether the resist is positive or negative) is removed and a hard bake S7, prior to an inspection step S8. The inspection step S8 includes various different measurements and  
30 inspections and according to the invention includes a scatterometry step described further below. If the wafer passes inspection, a process step S9 is carried out. This may involve etching the areas of the substrate not covered by resist, deposition of a product layer, metallization, ion implantation, etc. After the process step S9 the remaining resist is stripped



- 11 -

S10 and a final inspection S11 carried out before the process resumes for another layer. In case a substrate fails an inspection at S8, it may be directed directly to a stripping step S10 and another attempt to print the same process layer made.

In the inspection step S8, a scatterometer such as depicted in Figure 3 may be used.

5 Other inspections and/or measurements may also be made using other tools. The scatterometer 10 comprises a broadband (white light) radiation source 11 which directs radiation via a beamsplitter 12 onto a test structure TS on the wafer W. The reflected radiation is passed to a spectrometer 13 which measures a spectrum (intensity as a function of wavelength) of the specular reflected radiation. From this data, the structure giving rise to the  
10 detected spectrum may be reconstructed, e.g. by Rigorous Coupled Wave Analysis and non-linear regression or by comparison with a library of simulated spectra. In general, for the reconstruction the general form of the structure is known and some parameters are assumed from knowledge of the process by which the structure was made, leaving only a few parameters of the structure to be determined from the scatterometry data.

15 As illustrated, the scatterometer is a normal-incidence scatterometer. However the same principle may be applied using inclined incidence scatterometry. Variants of scatterometry in which the reflection at a range of angles of a single wavelength, rather than the reflection at a single angle of a range of wavelengths, is measured may also be used.

## 20 Embodiment 1

According to a first method of the invention, which is used to measure overlay, the test structure printed on the substrate W comprises a first mark, or first pattern component, G1 printed in an upper process layer TL and a second mark, or second pattern component, G2 printed in a lower process layer BL. The marks G1 and G2 may take any convenient form,  
25 such as gratings, checkerboards, boxes, frames, chevrons, etc.. The form of the marks is chosen for ease of reconstruction, in particular the use of gratings allows rapid reconstruction techniques to be used. The mark type can also be chosen to improve sensitivity. The two marks G1 and G2 should be, if printed perfectly and unaffected by subsequent processes, identical and in the absence of overlay error, exactly aligned. Though identical in form, the  
30 first and second marks (pattern components) are different in their location in the process layers on the substrate. When the test pattern comprising marks G1, G2 is illuminated with normally incident polarized light the reflected TE, TM or phase signal contains information about the relative position of the two gratings. However, due to internal reflections in the

- 12 -

intervening process layers IL between the upper and lower layers TL, BL containing the gratings G1, G2 and interference, the amplitude of the total reflected signal containing overlay information is very weak and has a low signal-to-noise ratio. Further noise is introduced by distortions in the marks G1, G2 during printing and, in the case of the lower mark G2, by the processes that have being carried out since it was printed.

According to the present invention, to improve measurement of overlay, two reference marks RG1, RG2 are printed at the same time as the two parts G1, G2 of the test pattern. Reference pattern RG1 is provided in the top layer TL and corresponds to the first mark G1. Reference pattern RG2 is provided in the bottom layer BL and corresponds to the second alignment mark G2. The reference patterns RG1, RG2 are printed close to but spaced apart from each other and the test pattern comprising alignment marks G1, G2. The reference markers RG1, RG2 and the test pattern should be close enough together that they will be affected in the same way by any distortions in the printing process or caused by subsequent process steps. At the same time, they should be sufficiently far apart that separate scatterometry measurements can be taken, without crosstalk.

When illuminated in the same way as the test pattern, the reference patterns RG1, RG2 produce scatterometry signals S2, S3 which contain information only about the respective gratings. The scatterometry signals S2, S3 can then be used to normalize the scatterometry signal S1 to provide an enhanced scatterometry signal S1-e. An example of this is shown in Figure 7 from which it can be seen that the enhanced signal S1-e has a much higher amplitude but retains the same phase position fingerprint of the original signal. The signal-to-noise ratio is effectively improved. The enhanced overlay signal is derived from three specular spectroscopic signals. The first is the "raw" overlay signal generated by the two overlying gratings. The second and third are the signal generated by the bottom and top reference gratings. The enhanced overlay signal is then derived by dividing the raw overlay signal by the signal from the top reference grating minus the signal from the bottom reference grating.

#### Embodiment 2

A grating structure used in a second method of the present invention is depicted in Figures 8 to 10. The second method of the present invention measures differential dimensional asymmetry due to comatic aberration in the lithographic apparatus, particularly the projection system PL, or the process applied to the substrate.

- 13 -

As shown in Figure 8, the test pattern G comprises a two-bar grating having an inner pitch  $P_i$  and an outer pitch  $P_o$ . The first pattern component comprises a single-bar grating of pitch equal to the inner pitch and the second pattern component to a single-bar grating of pitch equal to the outer pitch. The two reference gratings RG1', RG2' are shown in Figures 9 and 10 and comprise respectively a simple grating of pitch  $P_i$  and a simple grating of pitch  $P_o$ .

As in the first method, the test pattern G and reference patterns RG1', RG2' are illuminated identically with specular polarized light. The resulting reflectance spectra S1', S2', S3' contain information about any differential dimensional asymmetries as well as the actual forms of the gratings. The information about any differential dimensional asymmetry is contained in the reflectance spectra S1' from the dual pitch grating whilst the spectra S2', S3' contain information about the gratings themselves. As in the first method, the reflectance spectra S2', S3' are used to enhance the reflectance spectra S1' to provide a signal containing information of the dimensional asymmetry with an improved signal-to-noise ratio.

Whilst specific embodiments of the invention have been described above, it will be appreciated that the invention may be practiced otherwise than as described. The description is not intended to limit the invention.

**CLAIMS:**

1.       **An inspection method comprising:**  
          **using a lithographic apparatus to print onto a substrate a test pattern comprising a**  
5       **combination of first and second pattern components, said first pattern component being**  
          **different from said second pattern component;**  
          **using a lithographic apparatus to print onto said substrate first and second reference**  
          **patterns corresponding respectively to said first and second pattern components;**  
          **using a scatterometer to measure first, second and third reflection spectra of said test**  
10       **pattern and said first and second reference patterns; and**  
          **deriving from said first, second and third reflection spectra information indicative of**  
          **a parameter of said test pattern on said substrate.**
2.       **An inspection method according to claim 1, wherein said first and second pattern**  
15       **components differ in form.**
3.       **An inspection method according to claim 1 wherein said first and second pattern**  
          **components differ in their position amongst a plurality of process layers provided on said**  
          **substrate.**  
20
4.       **An inspection method according to claim 3 wherein said test pattern comprises first**  
          **and second alignment markers printed on top of one another in first and second process layers**  
          **and said first and second reference patterns comprise corresponding reference alignment**  
          **markers printed in the first and second process layers respectively, but not overlaid.**  
25
5.       **An inspection method according to claim 2 wherein said test pattern comprises a**  
          **two-bar grating pattern having an inner pitch and an outer pitch and said first and second**  
          **reference patterns comprise respectively a single bar grating having a pitch equal to the inner**  
          **pitch and a single bar grating having a pitch equal to the outer pitch.**  
30
6.       **An inspection method according to any one of the preceding claims wherein said**  
          **scatterometer is a normal incidence scatterometer.**

(15)

7. An inspection method according to any one of the preceding claims wherein said step of deriving information comprises reconstructing said first and second reference patterns using said first and second reflection spectra and using the reconstructed reference patterns to reconstruct said test pattern.

5

8. An inspection method according to any one of claims 1 to 6 wherein in said step of deriving, said information is obtained directly from said reflection spectra, without reconstruction of the test pattern.

10

9. A device manufacturing method comprising the steps of:

- providing a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material;
- providing a projection beam of radiation using a radiation system;
- using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
- projecting the patterned beam of radiation onto a target portion of the layer of radiation-sensitive material,

15

characterized in that:

said pattern comprises: a pattern representing a process layer; a test pattern comprising a combination of first and second pattern components, said first pattern component being different from said second pattern component; and first and second reference patterns corresponding respectively to said first and second pattern components; and by:

using a scatterometer to measure first, second and third reflection spectra of said test pattern and said first and second reference patterns; and

25

deriving from said first, second and third reflection spectra information indicative of a parameter of said test pattern on said substrate.

10. A device manufacturing method according to claim 9 wherein said test pattern is printed in an area adjacent the pattern of the production layer, such as a scribe lane.

30

11. A device manufacturing method according to claim 9 or 10 wherein said information indicative of a parameter is used to adjust a parameter of the lithographic apparatus or process

(16)

after which a further substrate is provided and said steps of providing a projection beam, using patterning means and projecting the patterned beam, are repeated.

5

## 1. ABSTRACT

### **Inspection Method and Device Manufacturing Method**

To enhance scatterometry measurements made from a two-component test pattern, reference patterns corresponding to each of the components of the two-component pattern are also printed. Scatterometry signals derived from the reference patterns, corresponding to the separate components of the test pattern, are used to enhance the signal from the test pattern to improve sensitivity and signal-to-noise ratios.

## 2. **Representative Drawing**

Fig. 4

Fig. 1

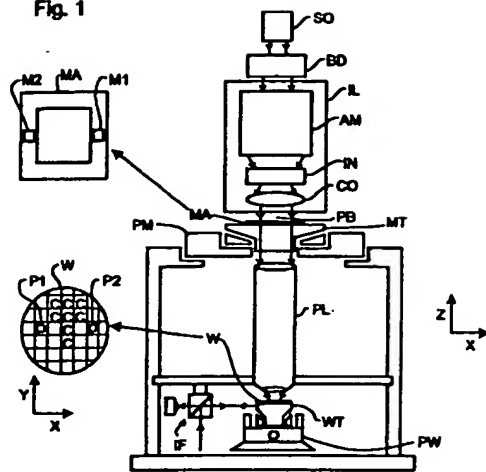


Fig. 2

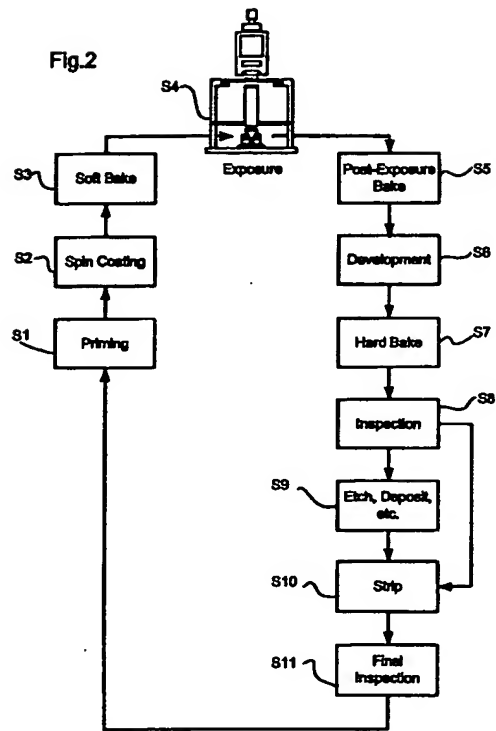


Fig. 3

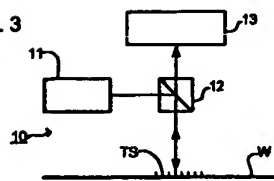


Fig. 8

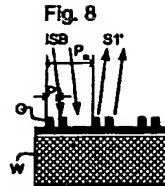


Fig. 9

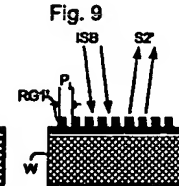


Fig. 10

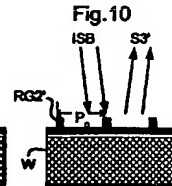


Fig. 4

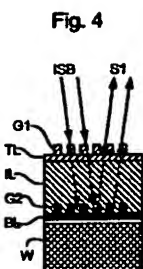


Fig. 5

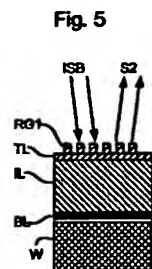


Fig. 6

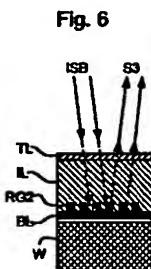


Fig. 7

